

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-369569

(43)Date of publication of application : 20.12.2002

(51)Int.Cl.

H02P 6/10  
B62D 5/04

(21)Application number : 2001-168151

(71)Applicant : NSK LTD

(22)Date of filing : 04.06.2001

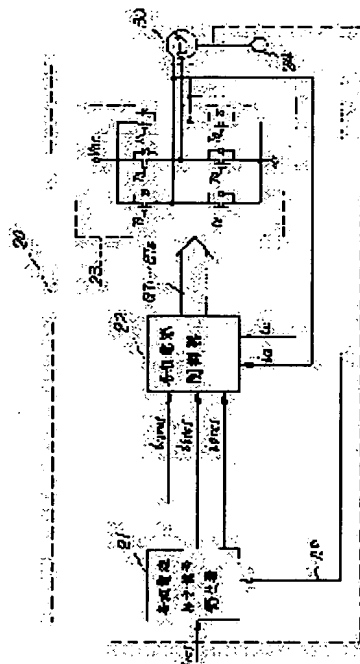
(72)Inventor : CHIN SATOSHI  
KO SHIYUNKO

## (54) BRUSHLESS MOTOR DRIVE CONTROL UNIT

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a brushless motor drive control unit, that can effectively inhibit the generation of torque variation and noise due to current variation, regardless of the rotational speed of a motor, and construct a low-noise electric power steering apparatus having improved steering feeling, when applied as the drive control unit of the assist brushless motor of the electric power steering apparatus.

**SOLUTION:** The brushless motor drive control unit, having a plurality of excitation phases, comprises an excitation phase current command signal generation means for generating an excitation phase current command signal for each excitation phase, and an excitation current control means for controlling an excitation current for each excitation phase by current feed back control, based on the excitation phase current command signal, which is generated by the excitation phase current command signal generating means. The excitation phase current command signal generating means generates the excitation phase current command signal of a commutation phase, so that the total value of the excitation current of the bi-phase commutation phase is equal to motor current command signal in commutation.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-369569  
(P2002-369569A)

(43) 公開日 平成14年12月20日 (2002. 12. 20)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 2 P 6/10		B 6 2 D 5/04	3 D 0 3 3
B 6 2 D 5/04		H 0 2 P 6/02	3 7 1 G 5 H 5 6 0

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-168151(P2001-168151)

(22) 出願日 平成13年 6 月 4 日 (2001. 6. 4)

(71) 出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎 1 丁目 6 番 3 号

(72) 発明者 陳 慧

群馬県前橋市島羽町78番地 日本精工株式  
会社内

(72) 発明者 江 春浩

群馬県前橋市島羽町78番地 日本精工株式  
会社内

(74) 代理人 100078776

弁理士 安形 雄三 (外 2 名)

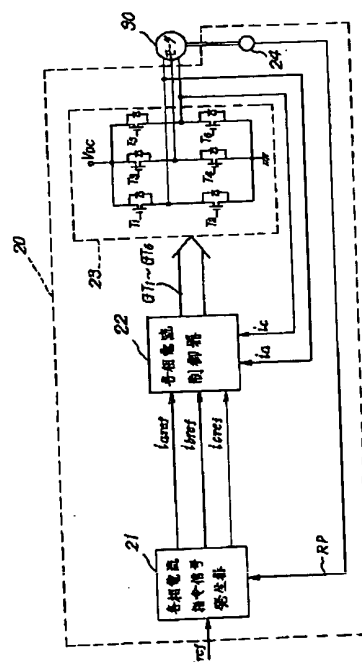
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ブラシレスモータ駆動制御装置

(57) 【要約】

【課題】 モータの回転速度に関係無く、電流変動によるトルク変動及び騒音の発生を有効に抑制することができ、電動パワーステアリング装置のアシストブラシレスモータの駆動制御装置として適用した場合に低騒音で操舵フィーリングの良い電動パワーステアリング装置が構築できるブラシレスモータ駆動制御装置を提供する。

【解決手段】 複数の励磁相を有するブラシレスモータの駆動制御装置において、前記励磁相毎に励磁相電流指令信号を生成する励磁相電流指令信号生成手段と前記励磁相電流指令信号生成手段で生成された前記励磁相電流指令信号に基づいて電流フィードバック制御により前記励磁相毎に励磁電流を制御する励磁電流制御手段とを備え、前記励磁相電流指令信号生成手段は転流時に 2 相の転流相の前記励磁電流の合計値をモータ電流指令信号と等しくするように前記転流相の前記励磁相電流指令信号を矩形波以外の形状で生成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】複数の励磁相を有するブラシレスモータの駆動制御装置において、前記励磁相毎に励磁相電流指令信号を生成する励磁相電流指令信号生成手段と、前記励磁相電流指令信号生成手段で生成された前記励磁相電流指令信号に基づいて電流フィードバック制御により前記励磁相毎に励磁電流を制御する励磁電流制御手段とを備え、前記励磁相電流指令信号生成手段は、転流時に、2相の転流相の前記励磁電流の合計値をモータ電流指令信号と等しくするように、前記転流相の前記励磁相電流指令信号を矩形波以外の形状で生成することを特徴とするブラシレスモータ駆動制御装置。

【請求項 2】前記励磁相電流指令信号生成手段は、前記転流時に、2相の前記転流相の前記励磁相電流指令信号の変化率を一致させるように、前記転流相の前記励磁相電流指令信号を生成する請求項 1 に記載のブラシレスモータ駆動制御装置。

【請求項 3】前記励磁相電流指令信号生成手段は、前記励磁相電流指令信号の変化率を時間に対して任意に変更できるように、前記転流相の前記励磁相電流指令信号を生成する請求項 2 に記載のブラシレスモータ駆動制御装置。

【請求項 4】前記励磁相電流指令信号生成手段は、前記励磁相電流指令信号の変化率をモータ回転角度に対して任意に変更できるように、前記転流相の前記励磁相電流指令信号を生成する請求項 2 に記載のブラシレスモータ駆動制御装置。

【請求項 5】電動パワーステアリング装置のアシストブラシレスモータを駆動するための駆動制御装置として使用される請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のブラシレスモータ駆動制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数の励磁相を有するブラシレスモータを駆動制御するのに好適なブラシレスモータ駆動制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】自動車のパワーステアリング装置の駆動源として用いられているブラシレスモータは 3 相以上の励磁相を有するモータであり、その駆動は矩形波状の励磁電流によって行われている。

【0003】例えば 5 相ブラシレスモータの場合、モータ駆動回路は、モータの回転子（ロータ）の外周面を電気角で 72 度ずつ離隔して取り囲むように配設された 5 相（以下、これらを a 相～e 相という）の励磁コイル a～e に対し、マイクロコンピュータ等の制御回路による制御下で、4 相同時に励磁する 4 相励磁方式により、コイルを 1 相ずつ順次切り換えて矩形波電流で励磁することにより、ロータを回転駆動させている。この 4 相励磁方式では、モータ電流は 5 相のうちの 4 つの相に流れるこ

とになるが、各相にバランスよく電流を流すために、各励磁コイルの抵抗は全て等しくなるように形成されている。

【0004】このようなモータ駆動回路は、通常 10 個の電界効果トランジスタ（FET）で構成されている。これら 10 個のトランジスタは、対応する 2 個のトランジスタを直列接続して 5 つの直列トランジスタ回路を形成し、それぞれを電源の正負両端子間に接続すると共に、各直列トランジスタ回路の 2 個のトランジスタの接続部をそれぞれ Y 字形にスター結線した 5 個の励磁コイル a～e の外端に接続することにより、モータのコイル回路と接続している。

【0005】このモータ駆動回路から各励磁コイルへ供給される励磁電流（矩形波）の方向及び長さは、ロータの回転角（電気角）の値に対して例えば図 7 に示すようになる。すなわち、電気角で 36 度毎に順次 1 相ずつ励磁コイルを切り替え、1 つの相コイルを電気角で 144 度の間励磁することにより、ロータを連続して回転させるようになっている。この図 7 では、電気角を  $\theta$  としたとき、 $0^\circ \leq \theta < 36^\circ$ 、 $36^\circ \leq \theta < 72^\circ$ 、 $72^\circ \leq \theta < 108^\circ$ 、 $108^\circ \leq \theta < 144^\circ$ 、 $144^\circ \leq \theta < 180^\circ$ 、 $180^\circ \leq \theta < 216^\circ$ 、 $216^\circ \leq \theta < 252^\circ$ 、 $252^\circ \leq \theta < 288^\circ$ 、 $288^\circ \leq \theta < 324^\circ$ 、 $324^\circ \leq \theta < 360^\circ$  の区間をそれぞれ (1)、 $\dots$ 、(10) で表わしている。

【0006】本例の場合、a 相の電流は区間 (1) 及び (2) で + 方向に流れ、区間 (3) で 0、区間 (4)～(7) で - 方向に流れ、区間 (8) で 0、区間 (9) から (10) を経て再び区間 (1) で + 方向に流れる。b 相の電流は、区間 (1)～(4) で + 方向に流れ、区間 (5) で 0、区間 (6)～(9) で - 方向に流れ、区間 (10) で 0、そして再び区間 (1) で + 方向に流れる。c 相の電流は、区間 (1) で - 方向に流れ、区間 (2) で 0、区間 (3)～(6) で + 方向に流れ、区間 (7) で 0、区間 (8)～(10) を経て再び区間 (1) で - 方向に流れる。d 相の電流は、区間 (1)～(3) で - 方向に流れ、区間 (4) で 0、区間 (5)～(8) で + 方向に流れ、区間 (9) で 0、そして区間 (10) から再び - 方向に流れる。e 相の電流は、区間 (1) で 0、区間 (2)～(5) で - 方向に流れ、区間 (6) で 0、区間 (7)～(10) で + 方向に流れ、再び区間 (1) で 0 となる。従って、区間 (1)～(10) の各境界（電気角で 36 度毎の切替時）では、5 つの励磁コイルのうちの 2 つが互いに逆向きに切り替えられることになる。

【0007】このような励磁電流の切替えは、原理的には、図 7 に示すような矩形波の立ち上がり又は立ち下がりによって表わされるが、実際にはその立ち上がり又は立ち下がり波形は横軸に対し直角に変化するのではなく、励磁電流が + 方向に立ち上がるまで或いは - 方向に立ち下がるまで、ある程度の時間  $\Delta t$ （モータ回路の時定数の 3 倍位）がかかる。

【0008】例えば、図 7 の区間 (8) と (9) の境界（電気角で 288 度）では、a 相の電流が 0 から + の一定値まで

立ち上がる一方、d相の電流が+の一定値から0に立ち下がり、b相及びc相の電流は共に“-”の一定値、e相の電流は“+”の一定値であるが、この境界部分の波形の変化を拡大すると図8に示すようになる。

【0009】詳細には、a相の立ち上がり電流は時間 $\Delta t$ の間に0から+の一定値まで漸進的に増大する一方、d相の立ち下がり電流は、時間 $\Delta t$ よりも短い時間 $\Delta t_1$ （モータ回路の時定数より小さい）で、+の一定値から0まで減少する。このとき、他の3つの相b、c、eは切り替えられない相であるが、5つの相の電流を $i_a, i_b, i_c, i_d, i_e$ で表わしたとき、これらの電流の間には次式（1）の関係がある。

【0010】

$$i_a + i_d + i_e = -(i_b + i_c) = I \quad \dots (1)$$

このため、a相とd相の電流が上述のように変化すると、b、c、e相の電流も変化する。すなわち、a相とd相の電流変化率が異なるために、この2つの相の電流の合計値が定常値にならず、図8に示すようにb相、c相の電流が変動する結果、e相の電流も上記時間 $\Delta t$ の間変化する。これらの電流変動により、過度的なトルク変動が生じてしまう。

【0011】上記のように2つの相の電流の立上りと立\*

$$i_d(t) = (I/2) e^{-t/T} + (V_{OFF}/R) (1 - e^{-t/T}) \quad \dots (2)$$

∴  $t=0$  のとき、 $i_d = I/2$

但し、 $T$ は等価回路の電気的時定数、 $R$ は等価回路の抵抗である。

【0016】一方、ON相の等価回路により、電流 $i_a$ は次式（3）で表わされる。

【0017】

$$\begin{aligned} di_d(t)/dt &= -(1/T) (I/2) e^{-t/T} + (1/T) (V_{OFF}/R) e^{-t/T} \\ &= -(1/2 - V_{OFF}/R) (1/T) e^{-t/T} \\ &= -(1/2 + V_n/R + E_d/R) (1/T) e^{-t/T} \quad \dots (4) \\ di_a(t)/dt &= (1/T) (V_{ON}/R) e^{-t/T} \\ &= (1/2) (1/T) e^{-t/T} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

上式（4）及び（5）において、 $(1/2 + V_n/R + E_d/R) > 1/2$ であるから、OFF相の電流変化率の方がON相の電流変化率より大きい。特に、等価回路の抵抗 $R$ が小さい場合、電源電圧 $V_b$ （ $\approx 2V_n$ ）が大きい場合、或いは高速回転時で逆起電圧 $E_d$ が大きい場合には、OFF相の電流変化率はON相の電流変化率よりかなり大きくなる。従って、OFF相の電流 $i_d$ が $I/2$ から0まで下がる時間（ $\Delta t_1$ ）よりも、ON相の電流 $i_a$ が0から $I/2$ まで上がる時間（ $\Delta t$ ）の方が長い。すなわち、区間①の最後でON相の電流 $i_a$ は $I/2$ に到達せず、上昇途中である。その後、区間②において、ON相の電流 $i_a$ が最終的に定常値（ $I/2$ ）に到達するが、それまでに時間 $\Delta t_2$ （モータ回路の時定数の2～3倍）を要する。従って、切り替えられる2つの相の電流の立ち上がりとし

立ち下がりでは、電流変化率が異なっている。

【0019】上述のように、このようなモータ駆動回路

\*下りの電流変化率が異なるのは、次の理由による。

【0012】まず、モータ駆動回路に供給される電源電圧を $V_b$ 、スター結線した励磁コイルa～eの中心接続点の電圧を $V_n$ とする。次に、図8において、時間 $\Delta t_1$ の区間を①、時間 $\Delta t_2$ （ $= \Delta t - \Delta t_1$ ）の区間を②とする。

【0013】区間①では、+から0に切り替えられるd相（OFF相）の電流 $i_d$ は、 $-V_n$ 、コイルの逆起電圧 $E_d$ 及びモータ回路の時定数に応じた変化率で、モータ駆動回路からモータへの通電電流 $I$ の半分（ $I/2$ ）から零（0）まで下がる。このとき、OFF相の等価回路に加えられる電圧を $V_{OFF}$ とすると、 $V_{OFF} = -V_n - E_d < 0$ であり、 $V_n$ は近似的に $V_b/2$ となる。一方、0から+に切り替えられるa相（ON相）の電流 $i_a$ は、電圧 $V_b$ 、 $-V_n$ 、コイルの逆起電圧 $E_a$ 及びモータ回路の時定数に応じた変化率で零（0）から上昇するが、このとき、ON相の等価回路に加えられる電圧を $V_{ON}$ とすると、 $V_{ON} = V_b \cdot \text{Duty1}$ （PWMのデューティ） $- V_n - E_a$ である。

【0014】式で説明すると、OFF相の等価回路により電流 $i_d$ は次式（2）で表される。

【0015】

$$i_d(t) = (V_{ON}/R) (1 - e^{-t/T}) \quad \dots (3)$$

∴  $t=0$  のとき、 $i_a = 0$ 、 $t \rightarrow \infty$  で、 $i_a = V_{ON}/R = I/2$

従って、OFF相、ON相の各電流 $i_d, i_a$ の変化率は、それぞれ次のようになる。

※ 【0018】

による励磁電流の制御では、切替える2つの相（例えば図7のa相及びd相）の電流の立上りと立下りの変化率が異なるため、切替えられない相（例えば図7のb相、c相、e相）の電流が変動し、それらの電流変動により過渡的なトルク変動が生じてしまう。

【0020】このようなトルク変動を生じさせる相切替時の電流変動を抑制するためには、各相の電流を制御すればよいが、その制御のために各相の電流を検出する必要があり、2以上の電流検出回路が必要になる。特に5相ブラシレスモータの場合は、4相励磁方式を採用していることから、モータ駆動回路に4つの電流検出回路と4つの電流ループが必要であり、駆動回路の構成が複雑化し、コストも高くなるという問題点があった。

【0021】従来、かかる問題を解決するものとしては、例えば特開平11-356083号公報に開示されている装置がある。これにより、制御手段は、駆動手段

からブラシレスモータの各励磁相毎に供給される励磁信号の方向決定及びオン／オフの切替えを行う。その切替え時に、切り替えられる励磁信号の変化率を制御することにより、切替える2つの相の電流変化率を一致させる（又は同程度にする）ことができる。これにより、切り替えない相の電流変動が抑制されるので、前述のトルク変動もなくなる。また、励磁信号は、上記のモータ回路を流れる電流のみを検出すれば生成可能であるから、励磁信号の変化率を制御するために各相の電流を検出する必要がなく、制御のための回路構成も複雑化しない。

【0022】また、従来、転流時の電流変化率を制御する他のものとしては、例えば特開 2000-308386 号公報に開示されている装置がある。この装置では、1 個の電流検出回路を用いてブラシレスモータを矩形波で駆動するものにおいて、相電流切替え時の立ち上がり相と立ち下がり相の電流変化率を制御することにより、相切替え時のモータ電流を一定に保つことで、電流変動と電磁トルク変動を抑えることができ、安価で低電流変動、低トルク変動の高性能サーボモータを実現している。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記した特開平 11-356083 号公報及び特開 2000-308386 号公報に開示されている従来技術において、転流時の立ち下がり電流の変化率を制御する方法では、モータの回転速度が速くなるほど、転流間隔時間における転流の過渡時間の占める割合が高くなる。ここで、「転流間隔時間」とは、ある転流の開始時間から次の転流の開始時間までに要する時間をいい、「転流の過渡時間」とは、転流動作において相電流が過渡状態になっている時間をいう。

【0024】要は、図 9 に示すように、立ち下がり相の相電流  $i_d$  が徐々に下がる転流の過渡時間が転流間隔時間の  $1/2$ （モータが一定速度で回転する時）を超えた場合に、立ち下がり相の逆起電圧  $E_d$  の極性が変わり、立ち下がり相の相電流  $i_d$  が逆に上昇する現象が発生する。図 9 において、 $t_1$  は転流 1 の開始時間であり、 $\theta_1$  は時間  $t_1$  におけるロータ位置の電気角度であり、 $t_2$  は次の転流 2 の開始時間であり、 $\theta_2$  は時間  $t_2$  におけるロータ位置の電気角度であり、 $t_3$  は OFF 相の逆起電圧の極性が変る時間であり、 $\theta_3$  は時間  $t_3$  におけるロータ位置の電気角度である。このように、立下り相の電流が上昇することにより、モータに電流変動、トルク変動及び騒音が発生する。

【0025】また、立ち下がり相の電流が転流間隔時間の  $1/2$  以上流れ続けると、その相の逆起電圧の極性が変わることにより、その相では、モータ本来の回転トルクとは逆方向の回転トルクが発生してしまい、モータのトータルトルクが落ちてしまう。モータトルクの落ち込みはモータの回転速度に依存するため、モータを自動車

のパワーステアリング装置のアシスト装置として使う場合は、操舵フィーリングにおいて粘性感が生じるという問題点となる。

【0026】つまり、転流時の転流電流制御は、基本的に電圧のフィードフォワード制御により実現されているので、転流電流の目標値に見合った励磁電圧を設定するようになっている。従って、転流電流の過渡過程時間（転流の過渡時間）は、励磁コイルの電気的時定数に依存する。

10 【0027】その問題を解決するものとしては、例えば、転流時の電流変化率を制御する電流変化率制御手段を有すると共に、複数の励磁相を有するブラシレスモータの駆動制御装置であって、その電流変化率制御手段は、転流の過渡時間を転流間隔時間の  $1/2$  以内に終了させ、また、駆動回路のインピーダンスを含むブラシレスモータの電気的時定数が転流間隔時間の  $1/6$  以下である装置が提案されている。

20 【0028】このような装置は、低回転で極数の少ないブラシレスモータに対して適切であるが、高回転又は極数の多いモータに対しては限界がある。つまり、要求される電気的時定数が小さいので、ブラシレスモータの設計が難しく小型化も難しい。また、電気的時定数が満足できない場合、例えば、回転電気角度若しくは回転速度による転流相の電流制御方法が提案されているが、この方法では転流相の電流変化率を完全に一致させることができないので、騒音が発生する問題点がある。

30 【0029】つまり、上述した従来技術を用いて低回転ブラシレスモータを駆動制御する場合に、電流・トルク変動及び騒音の抑制に対して効果はあるが、ブラシレスモータの回転速度が速くなるほど、電流・トルク変動及び騒音の抑制効果が著しく低下するという問題点がある。

40 【0030】本発明は上述のような事情よりなされたものであり、本発明の目的は、低回転ブラシレスモータを駆動制御するのに適切だけではなく、高回転ブラシレスモータを駆動制御する場合であっても、ブラシレスモータにおける電流変動、トルク変動及び騒音の発生を有効に抑制することができ、電動パワーステアリング装置のアシストブラシレスモータの駆動制御装置として適用した場合に、低騒音で操舵フィーリングの良い電動パワーステアリング装置が構築できるブラシレスモータ駆動制御装置を提供することにある。

【0031】

50 【課題を解決するための手段】本発明は、ブラシレスモータにおける電流変動、トルク変動及び騒音の発生をブラシレスモータの回転速度に関係無く、有効に抑制することができるようにしたブラシレスモータ駆動制御装置に関し、本発明の上記目的は、複数の励磁相を有するブラシレスモータの駆動制御装置において、前記励磁相毎に励磁相電流指令信号を生成する励磁相電流指令信号生

成手段と、前記励磁相電流指令信号生成手段で生成された前記励磁相電流指令信号に基いて電流フィードバック制御により前記励磁相毎に励磁電流を制御する励磁電流制御手段とを備え、前記励磁相電流指令信号生成手段は、転流時に、2相の転流相の前記励磁電流の合計値をモータ電流指令信号と等しくするように、前記転流相の前記励磁相電流指令信号を矩形波以外の形状で生成することによって達成される。

【0032】また、本発明の上記目的は、前記励磁相電流指令信号生成手段は、前記転流時に、2相の前記転流相の前記励磁相電流指令信号の変化率を一致させるように、前記転流相の前記励磁相電流指令信号を生成することにより、あるいは前記励磁相電流指令信号生成手段は、前記励磁相電流指令信号の変化率を時間に対して任意に変更できるように、前記転流相の前記励磁相電流指令信号を生成することにより、あるいは前記励磁相電流指令信号生成手段は、前記励磁相電流指令信号の変化率をモータ回転角度に対して任意に変更できるように、前記転流相の前記励磁相電流指令信号を生成することにより、あるいは電動パワーステアリング装置のアシストブラシレスモータを駆動するための駆動制御装置として使用されることによって、より効果的に達成される。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、図面に基いて本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。

【0034】なお、本実施形態では、3相ブラシレスモータに適用した場合を例として説明しているが、本発明はこれに限定されるものではなく、他の複数の励磁相（例えば5相）のブラシレスモータについても本発明を適用することができる。また、励磁相電流指令信号はハード又はソフトによって生成することができる。本実施形態では、この励磁相電流指令信号がソフトによって生成される。

【0035】本発明に係るブラシレスモータ駆動制御装置20は、図1に示すように、各相電流指令信号発生器21、各相電流制御器22、モータ駆動回路23及びロータ位置検出器24で構成されている。ここで、各相電流指令信号発生器21が励磁相電流指令信号生成手段に対応し、各相電流制御器22及びモータ駆動回路23が励磁電流制御手段に対応している。

【0036】各相電流指令信号発生器21には図示しない外部回路からモータ電流指令信号 $I_{ref}$ が入力され、ロータ位置検出器24からのロータ位置信号 $RP$ も入力される。各相電流指令信号発生器21はこれらの入力信号に基いて、各励磁相(a、b、c)の励磁相電流指令信号( $i_{aref}$ 、 $i_{bref}$ 、 $i_{cref}$ )を生成する。また、各相電流制御器22では、各相電流指令信号発生器21で生成された励磁相電流指令信号( $i_{aref}$ 、 $i_{bref}$ 、 $i_{cref}$ )に基いて、モータ駆動回路23を介して電流フィードバック制御により、各

励磁相の励磁電流( $i_a$ 、 $i_c$ )を制御するようになっている。

【0037】モータ駆動回路23は、電源供給側(上段側)に3個、アース側(下段側)に3個配設された合計6個のトランジスタ(電界効果トランジスタFET)  $T_1 \sim T_6$ で構成されている。これら6個のトランジスタは、上段側と下段側とで対応するトランジスタが直列接続され、これら直列接続の各トランジスタ対( $T_1-T_2$ 、 $T_3-T_4$ 、 $T_5-T_6$ )の接続部は、3相ブラシレスモータ30の各励磁コイルの外端と接続されている。そして、トランジスタ $T_1 \sim T_6$ のゲート駆動信号 $GT_1 \sim GT_6$ は、ロータ位置検出器24から検出されたロータ位置信号 $RP$ に基づいて、各相電流指令信号発生器21を介して各相電流制御器22により生成される。

【0038】転流タイミングは、ロータ位置信号 $RP$ により生成される。ロータ位置信号 $RP$ は、ロータ位置検出器24で検出されてから各相電流指令信号発生器21に送られる。ロータ位置検出器24は、ホール素子あるいはレゾルバ、もしくはエンコーダのいずれかによって構成しても良い。

【0039】図2は、モータ電流指令信号( $I_{ref}$ )及び各励磁相の励磁相電流指令信号( $i_{aref}$ 、 $i_{bref}$ 、 $i_{cref}$ )の一例を示す波形図である。図示されるように、転流していない時に、通電した各励磁相の励磁相電流指令信号の振幅は、モータ電流指令信号の振幅と同じで、符号は逆である。通電していない励磁相の励磁相電流指令信号の振幅はゼロである。

【0040】図2に示すように、転流時に、例えば電気角度30度で、通電していない転流相のa相の励磁相電流指令信号 $i_{aref}$ は、ゼロより立ち上がる。通電していた転流相のc相の励磁相電流指令信号 $i_{cref}$ は、ゼロに向けて立ち下がる。

【0041】前述したようなブラシレスモータの高速回転時の電流及びトルク変動という問題点を解決する方法を以下に説明する。

【0042】<変化率を一致させた転流相の励磁相電流指令信号の生成>各相電流指令信号発生器21は、2つの転流相の励磁相電流指令信号(本例では $i_{aref}$ 、 $i_{cref}$ )の合計値 $i_{aref} + i_{cref}$ が、モータ電流指令信号 $I_{ref}$ の振幅と等しくなるように、各励磁相の励磁相電流指令信号( $i_{aref}$ 、 $i_{bref}$ 、 $i_{cref}$ )を生成する。要は、2つの転流相の励磁相電流指令信号の変化率を一致させるように、転流相の励磁相電流指令信号を生成する。図3は、その転流相の励磁相電流指令信号の変化率を一致した場合の各励磁相電流指令信号を示す波形図である。

【0043】各相電流制御器22では、電流フィードバック制御により、転流相の励磁電流が転流相の励磁相電流指令信号と同じような電流値が得られる。つまり、本

実施形態では、励磁電流  $i_a$  が励磁相電流指令信号  $i_{aref}$  と、また、励磁電流  $i_c$  が励磁相電流指令信号  $i_{cref}$  と同じような電流値を有する。図 3 に示すように、転流時に、転流相の励磁相電流指令信号の変化率を一致させているため、2つの転流相の励磁電流の合計値  $i_a + i_c$  が一定になり、よって、転流してない励磁相（本実施形態では  $b$  相）の励磁電流  $i_b$  を一定に保つことができる。従って、転流時の励磁電流の変動による電磁トルクの変動が抑えられ、電磁トルクの変動による騒音を低減する効果が得られる。

【0044】従来のように、例えば図 4 に示すように、矩形波である励磁相電流指令信号を用いて駆動する場合には、電流制御器の応答性と制御電圧の飽和の影響で、電流信号がオーバーシュート（overshoot）し易いし、1つの転流相（OFF相）の励磁電流の下がりの変化が、もう1つの転流相（ON相）の励磁電流の上がりの変化と異なるので、図 4 の中の点線で示されているように、転流時の各励磁相の励磁電流の変動が激しい。それによってトルク変動と騒音が大きくなる。

【0045】＜時間に対する電流変化率の電流指令信号の生成＞各相電流指令信号発生器 21 は、転流相の励磁相電流指令信号の変化率が、時間に対して一定の変化率もしくは変動の変化率であるように、転流相の励磁相電流指令信号を生成する。

【0046】転流相の励磁相電流指令信号の変化率が時間に対して一定変化率であるというのは、所定の時間毎に転流相の励磁相電流指令信号値をモータ電流指令信号値（目標値）の  $n$  分の 1 ずつに変化することであり、つまり、図 5 に示すように（図の横軸は  $t$  で時間を表す）、 $T$  時間毎に、ON相の励磁相電流指令信号（本例では  $i_{aref}$ ）を目標値に達するまでに、ゼロから目標値の  $n$  分の 1 ずつに（本例では  $n=5$  であるため、5分の1）増加させていき、一方、OFF相の励磁相電流指令信号値（本例では  $i_{cref}$ ）をゼロに達するまでに、目標値から同じく目標値の  $n$  分の 1 ずつに（本例では  $n=5$  であるため、5分の1）減少させていくことを意味する。

【0047】転流相の励磁相電流指令信号の変化率が時間に対して可変変化率であるというのは、図 4 に示すような従来矩形波駆動時の矩形波励磁相電流指令信号が、フィルタを通して、図 6 に示すような指数曲線の可変変化率の転流相の励磁相電流指令信号が得られることを意味する。つまり、図 6 に示すように（図の横軸は  $t$  で時間を表す）、ON相の励磁相電流指令信号値（本例では  $i_{aref}$ ）を目標値に達するまでに、ゼロから指数的に増加させていき、一方、OFF相の励磁相電流指令信号値（本例では  $i_{cref}$ ）をゼロに達するまでに、目標値から指数的に減少させていき、かつ、ON相の励磁相電流指令信号値とOFF相の励磁相電流指令信号値との合計値が常に目標値に等しくなるようにすることを意

味する。

【0048】＜回転角度に対する電流変化率の電流指令信号の生成＞各相電流指令信号発生器 21 は、転流相の励磁相電流指令信号の変化率が、モータの回転角度に対して一定の変化率もしくは変動の変化率であるように、転流相の励磁相電流指令信号を生成する。

【0049】転流相の励磁相電流指令信号の変化率がモータの回転角度（電気角度）に対して一定変化率であるというのは、所定の電気角度毎に転流相の励磁相電流指令信号値をモータ電流指令信号値（目標値）の  $n$  分の 1 ずつに変化することであり、つまり、図 5 に示すように（図の横軸は  $\theta$  で電気角度を表す）、 $m$  電気角度毎に、ON相の励磁相電流指令信号（本例では  $i_{aref}$ ）を目標値に達するまでに、ゼロから目標値の  $n$  分の 1 ずつに（本例では  $n=5$  であるため、5分の1）増加させていき、一方、OFF相の励磁相電流指令信号値（本例では  $i_{cref}$ ）をゼロに達するまでに、目標値から同じく目標値の  $n$  分の 1 ずつに（本例では  $n=5$  であるため、5分の1）減少させていくことを意味する。

【0050】転流相の励磁相電流指令信号の変化率がモータの回転角度（電気角度）に対して可変変化率であるというのは、ロータの電気角度信号入力とし、計算またはマップ参照により励磁相電流指令信号を算出し、図 6 に示すような指数曲線の可変変化率の転流相の励磁相電流指令信号が得られることを意味する。つまり、図 6 に示すように（図の横軸は  $\theta$  で電気角度を表す）、ON相の励磁相電流指令信号値（本例では  $i_{aref}$ ）を目標値に達するまでに、ゼロから指数的に増加させていき、一方、OFF相の励磁相電流指令信号値（本例では  $i_{cref}$ ）をゼロに達するまでに、目標値から指数的に減少させていき、かつ、ON相の励磁相電流指令信号値とOFF相の励磁相電流指令信号値との合計値が常に目標値に等しくなるようにすることを意味する。

【0051】

【発明の効果】以上のように、本発明に係るブラシレスモータ駆動制御装置では、モータの電氣的時定数に関係無く、転流時に、励磁電流が立ち上る励磁相と励磁電流が立ち下る励磁相の電流指令信号の変化率を一致させることにより、電流制御器での電流フィードバック制御により、2つの転流相の電流変化率を一致させるようにしているので、2つの転流相の励磁電流の合計値が一定になり、よって、転流してない他の励磁相の励磁電流は値が変化せず一定に保たれることができる。従って、本発明によれば、転流時の電流変動によるトルクの変動を抑えることができるという効果を奏する。

【0052】また、本発明では、時間をベースに励磁電流指令信号を生成することにより、励磁電流が立ち上る励磁相と励磁電流が立ち下る励磁相の電流変化率を一致させるようにしているので、2つの転流相の励磁電流の合計値が一定になり、よって、転流してない他の励磁相

の励磁電流は値が変化せず一定に保たれることができる。従って、本発明によれば、転流時の電流変動によるトルクの変動を抑えることができるという効果を奏する。

【0053】さらに、本発明では、モータの回転角度（電気角度）の値をベースに電流指令信号を生成することにより、励磁電流が立ち上る励磁相と励磁電流が立ち下る励磁相の電流変化率を一致させるようにしているので、2つの転流相の励磁電流の合計値が一定になり、よって、転流してない他の励磁相の励磁電流は値が変化せず一定に保たれることができる。従って、本発明によれば、転流時の電流変動によるトルクの変動を抑えることができるという効果を奏する。

【0054】つまり、本発明に係るブラシレスモータ駆動制御装置では、従来の矩形波電流指令信号を使用せず、転流時に、転流相の電流変化率を一致させることにより、電流フィードバック制御で転流相の励磁電流の変化率を一致させることができる。よって、転流相の励磁電流の合計値が一定になるために、転流してない他の励磁相の励磁電流も一定に保たれる。従って、転流時の電流変動によるトルクの変動が抑えられ、騒音低減の効果が得られる。また、本発明に係るブラシレスモータ駆動制御装置を電動パワーステアリングの動力源として用いた場合には、ブラシレスモータの急激なトルク変動が小さいので、電動パワーステアリングの操舵フィーリングを向上させることが可能であり、振動ノイズを低減することができるという効果を奏する。従って、本発明を利用することによって、安価で低電流変動・低トルク変動、低騒音かつ操舵フィーリングの良い電動パワーステアリングを実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るブラシレスモータ駆動制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】3相ブラシレスモータにおけるモータ電流指令信号及び各励磁相の励磁電流指令信号の一例を示す波形図である。

図である。

【図3】変化率を一致させた転流相の励磁電流指令信号を示す波形図である。

【図4】従来矩形波駆動時におけるモータ電流指令信号及び各励磁相の励磁電流指令信号・励磁電流の一例を示す波形図である。

【図5】一定変化率である場合の転流相の励磁電流指令信号を示す波形図である。

【図6】可変変化率である場合の転流相の励磁電流指令信号を示す波形図である。

【図7】5相ブラシレスモータにおける各励磁相の励磁電流の一例を示す波形図である。

【図8】従来の励磁電流切替時の各励磁相の電流変化及び電磁トルク変化の一例を示す波形図である。

【図9】従来のブラシレスモータにおけるOFF相の電流変化例を示す波形図である。

#### 【符号の説明】

20 ブラシレスモータ駆動制御装置

21 各相電流指令信号発生器

22 各相電流制御器

23 モータ駆動回路

24 ロータ位置検出器

30 3相ブラシレスモータ

a、b、c 励磁相

ia a相の励磁電流

ib b相の励磁電流

ic c相の励磁電流

iaref a相の励磁相電流指令信号

ibref b相の励磁相電流指令信号

icref c相の励磁相電流指令信号

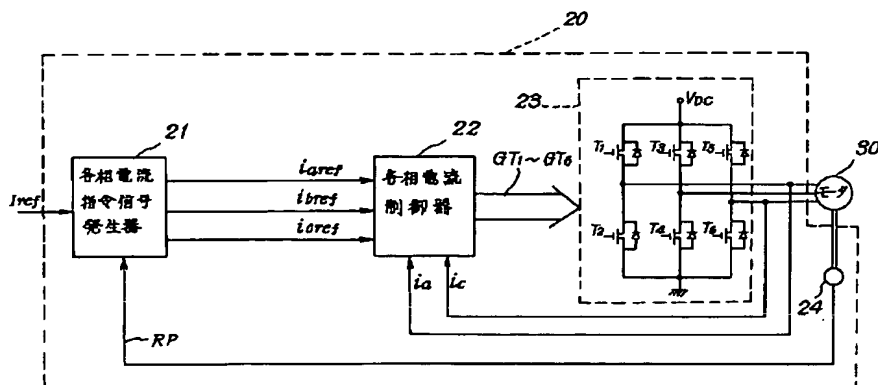
Iref モータ電流指令信号

GT1~GT6 ゲート駆動信号

T1~T6 トランジスタ

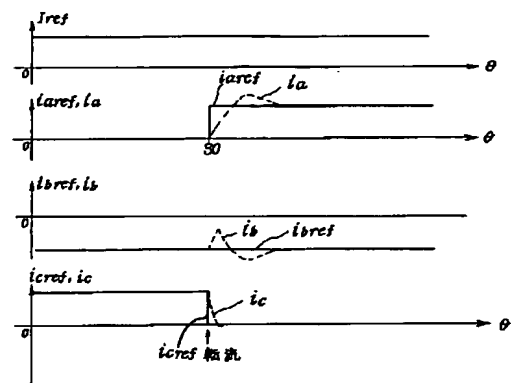
RP ロータ位置信号

【図1】

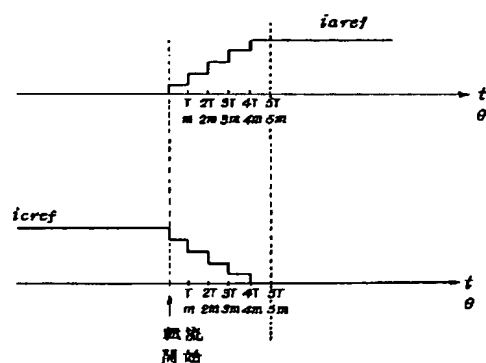




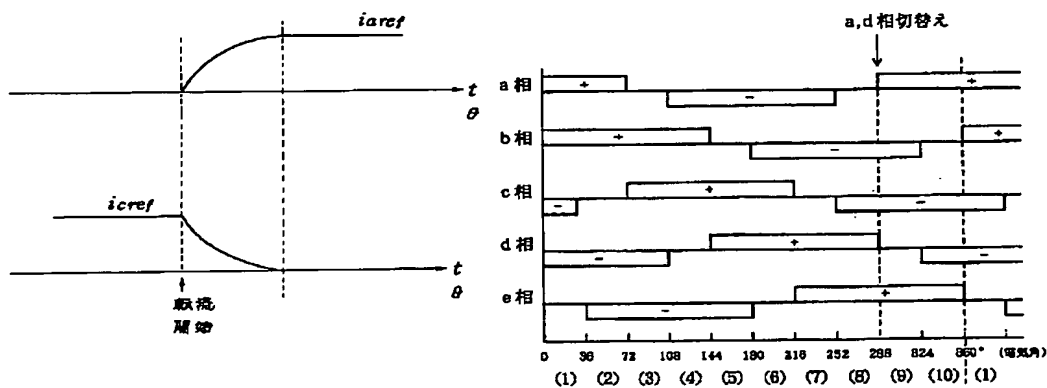
【図 4】



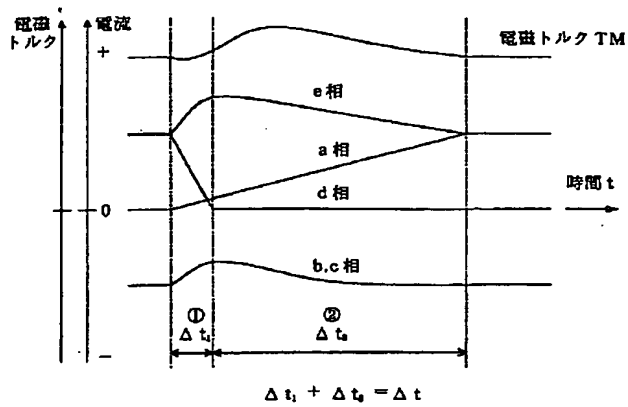
【図 5】



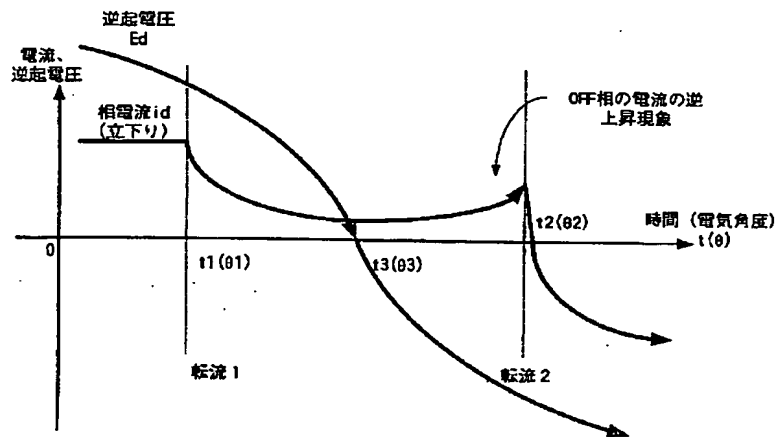
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3D033 CA03 CA20 CA21  
 5H560 BB04 BB12 DA02 DA07 DA10  
 DC12 JJ12 JJ13 JJ15 RR01  
 UA05 XA02 XA15 XB09

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**